Neue Versuche über den galvanischen Lichtbogen.

(Mit 3 Holzschnitten.)

Von Dr. **E. Lecher,**

Docent an der k. k. Universität Wien.

Die Thatsache, dass der scheinbare Widerstand des elektrischen Lichtbogens sehr gross ist und sich mit der Länge kaum ändert, ist lange bekannt, und wurde in verschiedener Weise erklärt. Edlund[1] und in neuerer Zeit v. Lang[2] und Arons[3] nehmen eine elektromotorische Gegenkraft an, welche dem Hauptstrome entgegenwirkt und dadurch die grosse Potentialdifferenz an den beiden Elektroden erzeugt. Ebenso Fröhlich[4] und Peukert,[5] welche jedoch vor der grossen Zahl von etlichen 40 Volt zurückscheuen und theilweise auch einen Übergangswiderstand annehmen. G. Wiedemann hingegen spricht in seinem Lehrbuche der Elektricität[6] die Vermuthung aus, dass der galvanische Lichtbogen möglicherweise eine discontinuirliche Entladung der Elektricität sei, wodurch man gleichfalls zu einer Erklärung der thatsächlichen Verhältnisse gelangt. Schliesslich möchte ich noch einen vierten Punkt erwähnen, welchem vielleicht auch ein gewisser, wenn auch kleiner Antheil an der Constanz der Potential-

---

[1] Pogg. Ann. Bd. 131 (1867), S. 536. — Bd. 133 (1868), S. 353. — Bd. 134 (1868), S. 250, 337. — Bd. 139 (1870), S. 353. — Bd. 140 (1870), S. 552. — Wied. Ann. Bd. 15.

[2] Sitzber. d. Wr. Akad. Bd. 91/II (1885), S. 844. — Ibidem Bd. 95/II (1887), S. 84.

[3] Wied. Ann. Bd. 23 (1887).

[4] Elektrot. Zeitschrift. Berlin (1883). S. 150.

[5] Zeitschrift für Elektrotechnik. Wien (1885). S. 111.

[6] Elektricität (1885). Bd. IV, S. 835 u. S. 855.

differenz gebührt, nämlich den Umstand, dass die Elekricität zwischen den zwei Spitzen sich räumlich ausbreitet.

Es sind somit vier verschiedene Gründe für die beobachtete, fast constante Grösse der Potentialdifferenz anzuführen, welche entweder einzeln oder vielleicht auch in Combination auftreten können:

1. Elektromotorische Gegenkraft,
2. Übergangswiderstand,
3. Discontinuirliche Entladung,
4. Räumliche Ausbreitung.

Die Erscheinungen am galvanischen Lichtbogen sind so complicirt, dass ich trotz der folgenden Versuche nicht wage, mich definitiv für eine oder einige der obigen Hypothesen zu entscheiden. Zudem liessen meine experimentellen Hilfsmittel oft zu wünschen, so vor Allem die Gramme'sche Maschine, welche mir in den meisten Fällen als Stromquelle diente und welche in Verbindung mit einem Gasmotor von 1 Pferdekraft oft recht inconstant wirkte. Die Versuche dürfen aber gleichwohl die Vermuthung G. Wiedemann's noch wahrscheinlicher und die elektromotorische Gegenkraft Edlund's noch unwahrscheinlicher machen, als sie es von Haus aus waren.

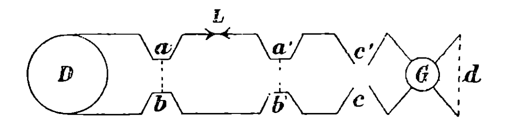
Ein Versuch über die elektromotorische Gegenkraft.

Der Begriff einer elektromotorischen Gegenkraft im Lichtbogen wurde 1867 von Edlund eingeführt. Ich habe bereits an anderer Stelle ausgesprochen, dass a priori das Auftreten einer derartigen Gegenkraft nicht zu vermuthen sei. Edlund meint, dass die mechanische Arbeit, die im Lichtbogen durch das Aufreissen der Pole geleistet wird, eine elektromotorische Kraft erzeuge. Diese Zerreibung der Pole ist eine mechanische Arbeit, die der Strom im Lichtbogen verrichtet. In der Volta'schen Zersetzungszelle leistet der Strom allerdings gleichfalls Arbeit durch Zerlegung der elektrolytischen Bestandtheile. Das bedingt aber noch keineswegs eine elektromotorische Gegenkraft; dieselbe entsteht vielmehr erst dadurch, dass die zersetzten Bestandtheile wieder in ihren unzersetzten Zustand zurückstreben und durch diesen Rückprocess elektromotorisch wirken.

Im Jahre 1868 veröffentlichte Edlund einen Versuch, welcher direct die Wirkung der elektromotorischen Gegenkraft zeigen soll.

Es wurde durch eine passend construirte Wippe die Batterie, welche den Lichtbogen speist, rach ausgeschaltet und andererseits ein empfindliches Galvanometer in eine Leitung mit den Elektroden eingeschaltet. Dieses Umwerfen der Wippe beansprucht $^1/_{80}$ Secunde und dann soll nach Edlund der Widerstand des erlöschten Lichtbogens circa 10 Ohm sein und es soll das Galvanometer auch stets einen dem ursprünglichen entgegengesetzten Strom anzeigen, welcher durch die elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens erzeugt sein soll.

Ich glaube jedoch, dass dieser Versuch Edlund's überflüssig complicirt ist und dass man nach folgender Methode viel leichter und rascher diesen Gegenstrom müsste finden können. In untenstehender Figur bedeutet *D* die Dynamomaschine, von



welcher die Leitung über *a* zum Lichtbogen *L* (Kohlenelektroden) führt, von da über *a'* durch einen Commutator *cc'* zum Galvanometer *G* und andererseits wieder von hier durch den Commutator *cc'* über *b'* und *b* zurück zur Maschine. Die Galvanometernadel ist mit einer passenden Hemmung versehen, so dass sie nur nach einer Seite ausschlagen kann. Die Ablesung erfolgte mit Spiegel und Fernrohr; da jedoch der volle Strom der Maschine die Nadel weit über die Scala hinausgetrieben hätte, war dem Galvanometer ein passender Widerstand *d* vorgeschaltet. Zunächst wurde der Commutator so gestellt, dass bei brennendem Lichte die Nadel sich frei bewegen konnte und eine genau bestimmte Ablenkung zeigte; hierauf wurde zuerst der Commutator umgelegt; wurde jetzt das elektrische Licht wieder angezündet, so wäre der Ausschlag eben so gross wie früher, aber in entgegengesetzter Richtung erfolgt, wenn die Nadel nicht durch die Hemmung genau am Nullpunkte zurückgehalten wäre. Überdies wird jetzt noch der Nebenschluss *d* entfernt und es liess sich jetzt nun

leicht berechnen, dass der Ausschlag der Nadel ohne Hemmung circa das 5—7fache der ganzen Scala betragen hätte. Wir haben somit in diesem Momente des Versuches in der Leitung einer Dynamomaschine nur eingeschaltet ein elektrisches Licht und ein Galvanometer, welches ohne Hemmung einen sehr bedeutenden Ausschlag geben würde. Jetzt bringe ich die beiden Punkte a und b durch einen kurzen metallischen Contact in Verbindung; die Maschine ist ganz kurz geschlossen und wirkt gar nicht mehr auf die übrige Leitung, die wir auch als ein ganz geschlossenes System betrachten können. Wäre nun in L eine elektromotorische Gegenkraft thätig, so würde der dadurch erzeugte Gegenstrom, unbeeinflusst von der Hemmung, einen Ausschlag des Galvanometers in entgegengesetzter Richtung erzeugen müssen. Leider wird eine derartige Hemmung ebenso wie die anliegende Galvanometernadel ein wenig federn; es wird somit bei diesem plötzlichen Kurzschlusse ein kleiner Ausschlag erfolgen, der aber, selbst wenn wir ihn auf Rechnung einer Gegenkraft setzen würden, höchstens zu einem Werthe von 2 Volt führen würde. Aber selbt gegen diesen kleinen Werth spricht ein weiterer Versuch, dass der Ausschlag gleich bleibt, wenn der Kurzschluss statt bei $a\ b$ bei $a'\ b'$ erfolgt.

Ich halte diesen Versuch nicht für einen absoluten Gegenbeweis gegen die elektromotorische Kraft des Lichtes, denn man könnte ja immerhin sagen, dass der Widerstand des erlöschenden Lichtbogens ein sehr grosser sei. Jedenfalls aber ist obiger Versuch im directen Widerspruche mit dem Resultate Edlund's, weil dieser zwischen dem Erlöschen des Lichtbogens und der Constatirung des Gegenstromes eine unvergleichlich grössere Zeit verstreichen lassen muss, als dies bei meiner Methode geschieht.

Dass bei Erlöschen des Lichtes der Widerstand nur sehr allmälig steigt, kann man aus folgendem einfachen Experimente ersehen. Wenn man nämlich in eine Leitung, die ein elektrisches Licht speist, die primäre Spule eines Rhumkorff so einschaltet, dass das Licht dort brennt, wo im Interruptor beim gewöhnlichen Gebrauche des Apparates die Unterbrechung stattfindet, so erhält man in der secundären Spirale dadurch, dass man die Kohlen langsam abbrennen und auslöschen lässt, keinen Funken,

wohl aber bei einem sehr raschen Auseinanderziehen derselben. Der Widerstand steigt im ersteren Falle zu langsam.

Mit Rücksicht auf diese eben geschilderte Erscheinung dürfte obigem Versuche vielleicht doch eine grössere Bedeutung zukommen, als es auf den ersten Blick scheint.

Bereits in der im Jahre 1867 veröffentlichten Arbeit zeigte Edlund dadurch, dass er für den galvanischen Lichtbogen entsprechende Widerstände substituirte, in indirecter Weise, dass die Potentialdifferenz an den beiden Elektroden sich ausdrücken lässt durch eine Formel

$$a+bl,$$

wo a und b zwei Constanten, l die Länge des Lichtbogens bedeutet.

Wenn bl als die gewöhnliche, dem Widerstande entsprechende Potentialdifferenz aufgefasst wird, so kann die Constante a nicht nur durch eine elektromotorische Kraft, sondern auch durch eine Arbeitsleistung erklärt werden, welche der elektrische Strom im Bogen leistet. Ebenso können, wie ich glaube, die neueren Versuche v. Lang's und Aron's auch so gedeutet werden, dass eine bestimmte Energiemenge ein für allemal zur Überbrückung der Elektroden verbraucht wird. [1]

Ist die Potentialdifferenz der Elektroden von der Temperatur abhängig?

v. Lang hat die Potentialdifferenz verschiedener Elektroden mittelst eines Voltmeters (Galvanometers von grossem Widerstande) bestimmt und glaubt, dass diese Potentialdifferenz oder, wie er sich ausdrückt, die elektromotorische Gegenkraft eine Übereinstimmung mit dem Schmelzpunkte des Elektrodenmaterials zeige. Nun kann man aber ebenso behaupten, dass die Metalle im Lichtbogen bis fast zu ihrem Schmelzpunkte, jedenfalls aber nie weit darüber hinaus erhitzt werden, und dass daher die Potentialdifferenz der Elektroden direct durch ihre Temperatur bestimmt werde. Dabei fällt auch die Ausnahmsstellung, welche Silber zeigt, weg.

---

[1] Über eine Anordnung, welche auch in Bezug auf obige Verhältnisse grosses Interesse bietet, siehe Hertz, Wied. Ann. Bd. XIX, S. 797.

In der That fand ich, dass künstliche Temperaturänderungen die Potentialdifferenz oft ziemlich bedeutend ändern können. Ich habe zu dem Zwecke drei verschiedene Methoden angewendet.

Methode 1. Die beiden Elektroden stehen sich horizontal in einer Linie gegenüber und können mit Hilfe passender Schrauben einander beliebig genähert werden. Die eine Elektrode ist zur Erde abgeleitet und die andere führt zur Lemniscate eines Thomson'schen Elektrometers, dessen zwei Quadrantenpaare mit Hilfe einer kleinen Batterie auf +25 Volt., resp. —25 Volt. geladen waren. Der Ausschlag des Elektrometers hat so die passende Grösse und ist überdies dem Potentiale der Lemniscate proportional. Geaicht wurde das Elektrometer vor und nach jedem Versuche mit 50 kleinen Elementen, deren Werth nach einem Clarkeelement bestimmt war. Es wird somit die Potentialdifferenz der Elektroden direct elektrometrisch abgelesen.

Die zur Erde abgeleitete Elektrode kann mittelst eines Gasgebläses erwärmt werden.

Methode 2. Wie früher; nur sind beide Elektroden bis knapp an ihre Spitze sehr dick mit dünnem Kupferdraht umwickelt, um durch die Leitung desselben eine Abkühlung hervorzubringen.

Methode 3. Die Elektroden stehen senkrecht übereinander und die untere taucht bis auf ihre Spitze in ein grosses Quecksilberbad, wodurch sie beträchtlich gekühlt wird. Das Quecksilber selbst ist mit einer dünnen Wasserschichte bedeckt, um die schädliche Wirkung aufsteigender Quecksilberdämpfe zu mindern.

Kohlenelektroden (5·5 Mm. Durchmesser). Die nach diesen drei Methoden erreichten Resultate sind bei Kohle am auffallendsten.

Ich werde die einzelnen Messungen nicht in Tabellen mittheilen, sondern der grösseren Übersichtlichkeit wegen nur die wichtigsten Resultate im Mittel angeben. Ebenso sei ein für allemal erwähnt, dass die Stromstärke, die ausgiebig zu ändern ich nicht im Stande war, immer auch bei andern Versuchen auf circa 5 Ampère erhalten wurde.

Stehen die Kohlen einander in einer Entfernung von 2 Mm. horizontal gegenüber, so ist die Potentialdifferenz circa 42 Volt, beim Erwärmen der negativen kälteren Elektrode steigt diese Potentialdifferenz bis auf 52 Volt; beim Erwärmen hingegen der positiven Elektrode auf 48 Volt. Diese letzteren Zahlen sind die äussersten erreichten Grenzwerthe und sind sehr abhängig von dem Grade der Erwärmung, d. h. von der Regulirung des Gaszuflusses beim Gasgebläse.

Stellt man die Kohlen senkrecht übereinander, so ist, da jetzt die untere Kohle stets die obere erwärmt, die Potentialdifferenz von vornherein eine grössere, und zwar wenn die positivere Kohle oben ist, etwa 47 Volt, wenn sie unten ist, 46 Volt; wird die untere Kohle durch Quecksilber gekühlt, so ist die Potentialdifferenz 43, wenn es die negative und, sehr angenähert 41, wenn es die positive ist. Letztere Zahl gilt ebenso wie alle übrigen für eine Elektrodendistanz von 2 Mm., ist aber nicht direct, sondern durch Extrapoliren bestimmt, da im letzteren Falle, d. h. bei Kühlung der positiven (heissen) Kohle der Lichtbogen in dieser Distanz nicht mehr ruhig brennt. Zu erwähnen wäre hier noch, dass die durch Quecksilber gekühlte Kohle nicht wie gewöhnlich spitzig und kegelförmig zubrennt, sondern sich ziemlich flach abstumpft, während die obere Kohle eine Spitze bildet, die mit einem kleinen blätterförmigen Schirm sich umkränzt. Letzte Erscheinung dürfte vielleicht auf eine Wirkung der Wasserdämpfe sich zurückführen.

Am auffallendsten zeigt sich die Wirkung der Abkühlung, wenn man beide Elektroden dick mit Kupferdraht umwickelt, so dass nur die brennenden Spitzen hervorsehen; die Potentialdifferenz sinkt dann bis auf 35 herunter.

Wollte man für die untersuchten Fälle die Resultate durch die Formel $a+bl$ ausdrücken, so hätte man (l in Millimetern):

für horizontale Elektroden	ohne Kühlung	$33\cdot0+4\cdot5\,l$ Volt
„ verticale	ohne Kühlung	$35\cdot5+5\cdot7\,l$
„ horizontale „	mit Kupferkühlung	$25\cdot0+5\cdot0\,l$ „

als Potentialdifferenz der Elektroden. Diese Formel gibt im ersten und zweiten Falle Abweichungen von der Beobachtung bis zu $\pm1\cdot5$ Volt., im dritten bis zu ±3 Volt. Es ist somit experimentell zweifellos gemacht, dass die Potentialdifferenz bei

Kohlen von der Temperatur derselben abhängt. Damit stimmt auch die Thatsache überein, dass dickere Kohlenstäbe, welche sich weniger stark erwärmen, als dünne, eine geringere Potentialdifferenz zeigen.

Platinelektroden (5 Mm. Durchmesser). Horizontale Platinelektroden zeigen bei der Distanz von 2 Mm. circa 35 Volt; sind sie beide sorgfältig mit Kupferdraht umwickelt, welcher zwar in der Nähe der Spitzen mit den Elektroden zusammenschmilzt, dieselben aber doch einige Millimeter frei vorstehen lässt, so sinkt die Potentialdifferenz auf 26.

Mit Quecksilberkühlung gelang es mir leider nicht, brauchbare Resultate zu erzielen. Ebenso habe ich der Kostbarkeit des Materials wegen, weil beim gleichzeitigen Erhitzen durch ein Gasgebläse das Platin ziemlich rasch abtropfte, auf die Untersuchung des Einflusses der Erwärmung verzichten müssen, doch halte ich es nach den von mir gemachten Erfahrungen für kaum zweifelhaft, dass die Resultate analoge sein werden, wie bei Kohle.

Für horizontale Platineelektroden ergibt sich

$$28 \cdot 0 + 4 \cdot 1 l \pm 1 \cdot 8 \text{ Volt.}$$

Mit Kupferkühlung werden die Resultate sehr unsicher.

Eisenelektroden (5·5 Mm. Durchmesser). Bei diesem Materiale war es mir unmöglich, brauchbare Resultate zu erzielen. Es schien mir zwar beim Erwärmen die Potentialdifferenz zu steigen und beim Kühlen durch Kupferdrahtleitung zu sinken, doch liegen diese Differenzen innerhalb der Beobachtungsfehler. Ganz unmöglich war es, Eisen mittelst des Quecksilberbades zu kühlen, denn dann wuchsen aus der oberen ungekühlten Elektrode, sowohl während des Versuches, als ganz besonders nach Öffnen des Stromes ganze Knorpeln und Knollen hervor. Die Potentialdifferenz horizontaler Elektroden ist

$$20 + 5l \pm 3 \text{ Volt.}$$

Kupferelektroden (4·4 Mm. Durchmesser). Die Temperatur ist hier schon eine so tiefe, dass nur der Einfluss der Erwärmung untersucht wurde. Die Potentialdifferenz bei 2 Mm. Distanz ist circa 26 und steigt beim Erwärmen der einen Elek-

trode auf etwa 28 Volt, und zwar wahrscheinlich etwas mehr beim Erwärmen der negativen, als wie beim Erwärmen der positiven Elektrode.

Ich habe die Erwärmung auch dadurch zu erreichen gesucht, dass ich an eine gewöhnliche Kohlenelektrode vorne ein 1 Ctm. langes, gleich dickes Kupferstück anschraubte; doch ist mit dieser Anordnung nichts zu erreichen, da der grossen Hitze wegen (die Wärme der Kupferelektroden bleibt der schlechten Ableitung wegen concentrirt) das Kupfer rasch abtropft.

Silberelektroden (4·9 Mm. Durchmesser). Bei 2 Mm. Entfernung ist die Potentialdifferenz zweier horizontal gegenüberstehender Silberstäbe ungefähr 20 Volt und steigt beim Erhitzen der positiven auf 23, beim Erhitzen des negativen Poles auf 28 Volt.

Bei Silber sowohl als bei Kupfer erscheint das constante Glied sehr klein, es ist z. B. für Silber $a = 8$ und $b = 6$; doch sind gerade bei diesen zwei Metallen meine Messungen weniger zahlreich.

Es wird noch eine grosse Reihe von Methoden geben, um den Einfluss der Temperatur zu studiren, so kann man z. B. die eine Kohle horizontal stellen und die andere senkrecht darüber, je nachdem die untere Spitze der senkrechten Elektrode über dem Anfange oder über der Mitte der Horizontalelektrode stehen, müssten die Werthe sich ändern. Es zeigt sich hier aber eine grosse Schwierigkeit in der Bestimmung der Entfernung der Elektroden. Überdies habe ich noch die untere Horizontalelektrode langsam unter der Senkrechten hin- und hergeschoben oder auch um ihre Längsachse rotiren lassen; doch sind auch hier die Resultate sehr schwankende, weil der Lichtbogen durch das Bewegen der Elektroden mechanisch sehr alterirt wird.

Letzteren Versuch machte ich, um ein Analogon für das Zischen des Bogens zu schaffen. Dieses Zischen des Bogens erklärt sich nämlich, wie ich glaube, durch folgende Hypothese, in Ermanglung einer besseren (mir wenigstens ist überhaupt keine andere bekannt), ziemlich ungezwungen; wird der Strom zu stark (nähert man die Elektroden einander zu sehr), so geht die Entladung, wenn eine Stelle zu warm geworden, fortwährend sprungweise an anderen kälteren Stellen über, durch

welches Hin- und Herspringen ein Ton entsteht und zugleich durch Inanspruchnahme der kältern Partien die Potentialdifferenz fällt.

Weil die in diesem Capitel beschriebenen Versuche ohne Ausnahme eine Abhängigkeit der Potentialdifferenz von der Temperatur anzeigen, so glaube ich zum Aussprechen folgender Vermuthung berechtigt zu sein: Es hängt auch bei verschiedenen Elektroden die Potentialdifferenz nicht so sehr von der Substanz dieser Elektroden, als wie von der allerdings durch die Substanz bedingten Temperatur ab. Ich selbst war nicht in der Lage, Temperaturbestimmungen der Elektroden direct vorzunehmen. Es wäre aber eine diesbezügliche Untersuchung gewiss von grossem Interesse.

Einige Versuche über das Innere des Lichtbogens.

Über den Potentialverlauf im Innern des Bogens existiren bis jetzt, so weit mir bekannt, keine Versuche. Ich will daher einige allerdings vielleicht nicht ganz einwurfsfreie Zahlen mittheilen. Ich steckte nämlich direct in den Lichtbogen hinein einen kleinen Kohlenstift, $1^1/_5$ Mm. dick, welcher senkrecht so gegen die Elektroden stand, dass sein Ende genau in der Mitte des Lichtbogens sich befand. Das Ende dieses Stiftes spitzte sich in der Hitze von selbst zu. Dieser Stift stand in Verbindung mit dem Elektrometer. Die eine Elektrode war zur Erde abgeleitet, so dass das Elektrometer direct das Potential des Ortes des Kohlenstiftes annehmen muss.

Durch Vorversuche überzeugte ich mich zuerst (an Eisen, Platin und Kohle), dass das Einführen des Stiftes die Potentialdifferenz der Elektroden nicht bedeutend ändert.

Bei Kohlenelektroden zeigte sich, wenn der Stift in Berührung mit der nicht abgeleiteten negativen Elektrode war, ein Potential von etwa 46 Volt, welcher Werth der Potentialdifferenz der Elektroden entspricht. War die Spitze des Stiftes aber nicht in Berührung mit der positiven Elektrode, so konnte man dieselbe längs dem ganzen Lichtbogen entlang führen, ohne dass das Potential von etwa 36 Volt sich stark änderte. Es macht somit das Potential im Kohlenlichtbogen einen doppelten Sprung; der Widerstand des Lichtbogens erscheint sehr klein, viel

kleiner, als er nach der gewöhnlichen Deutung der Constante b (in der früheren Formel $a+bl$) hätte erscheinen müssen. Der Lichtbogen hatte bei diesen Versuchen mindestens eine Länge von 2·5 Mm. und das entspräche einem Potentialgefälle von 10 Volt, welches innerhalb des Lichtbogens selbst sich hätte zeigen müssen und welches bei seiner Grösse gewiss nicht hätte übersehen werden können. Des fernern ergibt sich die interessante Thatsache, dass die gesammte Potenzialdifferenz sich zusammensetzt aus zwei Theilen; es findet nämlich unmittelbar an der positiven heisseren Elektrode ein Potentialsprung von 36, an der negativen kälteren ein solcher von 10 Volt statt.

Bei umgekehrter Stromrichtung zeigt dem entsprechend der Stift nur ein Potential von 10 Volt; es ist somit auch hier die Potentialdifferenz einer einzelnen Elektrode gegen den Lichtbogen von der Temperatur abhängig.

Die Resultate bleiben die gleichen, wenn man statt des Kohlenstiftes einen kleinen Platinstift in den Bogen einsenkt, nur zeigt sich hier der Missstand, das das Platin rasch abschmilzt.

Ein fernerer Übelstand, welcher mir das gewonnene Resultat nur als ein provisorisches erscheinen lässt, liegt darin, dass man die eingesenkte Spitze eine ziemlich grosse Strecke senkrecht aus dem Lichtbogen heraus ziehen kann, ohne dass das Potential dieser Spitze sich wesentlich ändert. Wir haben somit durch Einsenken eines derartigen Prüfstiftes nicht einen Punkt, sondern den Mittelwerth einer senkrecht zur Stromesrichtung liegenden Linie elektrometrisch gemessen. Gleichwohl aber deutet die eben geschilderte Erscheinung darauf hin, dass die räumliche Ausbreitung des Lichtbogens eine ziemlich beträchtliche ist.

Diese bei Kohle beobachtete einseitige Potentialdifferenz fand ich aber nicht bei Platin, Eisen, Silber oder Kupfer. Das Potential des innern Lichtbogens liegt ziemlich in der Mitte zwischen den Potentialen der beiden Elektroden; vielleicht liegt der Grund darin, dass die Temperaturen der Elektroden weniger sich von einander unterscheiden, als bei Kohle, vielleicht auch darin, dass sonstige noch nicht studirte Erscheinungen des Überganges von Elektricität oder Erscheinungen von Influenz stark glühender Körper hindernd sich geltend machen. Wäre ein Übergangswiderstand an den Elektroden vorhanden, so müsste

derselbe sich in Zusammenhang bringen lassen mit Erscheinungen, welche Guthrie[1] auf einem allerdings andern Gebiete studirte und welche neuerdings von verschiedenen Forschern weiter ausgearbeitet worden, ohne dass sie jedoch ihre Arbeiten in gegenseitigen Zusammenhang gebracht hätten.

Noch eine Bemerkung möchte ich hier anschliessen, welche sich mir bei Betrachtung des Lichtbogens aufdrängte.

In den meisten Fällen, besonders auffallend aber bei Silber- und Kupfer-Elektroden, scheint die Hauptrichtung der Convection von der negativen zu der positiven Elektrode zu führen. Die Lichterscheinung pfnaust so heftig aus der negativen Elektrode heraus, dass z. B. ebensowohl die Metalldämpfe als auch von unten aufsteigenden Rauch heftig in dieser Richtung fortgeschleudert werden. Bei Platin, Eisen und Kohle ist die Erscheinung weniger ausgeprägt, dass aber auch hier ein Strömen der Materie von der negativen zur positiven Elektrode stattfindet, beweisen, wie ich glaube, wenigstens für Kohle die Versuche von Dewar,[2] welche direct manometrische Druckunterschiede nachweisen.

Ich will von meinen vielen Notizen über das Aussehen des Bogens bei verschiedenen Elektroden keine mittheilen, da bei der Mannigfaltigkeit der Erscheinung ein einheitlicher Gesichtspunkt noch mangelt; ich will nur noch eine, wie ich glaube, wichtige Thatsache erwähnen; wenn man nämlich das von den Elektroden ausgestrahlte Licht abblendet, um den Lichtbogen selbst besser sehen zu können, so zeigt sich, dass die Breite desselben in der Mitte eine verhältnismässig sehr grosse ist. Es strömt somit die Elektricität nicht nur direct von einer Elektrode zur andern über, sondern auch in immer mehr sich ausbauchenden Stromlimen. Wäre diese Ausbreitung eine vollkommen räumliche, so würde der Widerstand nur an beiden Elektrodenflächen liegen und die Potentialdifferenz derselben unabhängig sein von ihrer Entfernung. Auf jeden Fall wird die räumliche Ausbreitung des Lichtbogens bei einer Erklärung seines Widerstandes einmal mit in Rechnung gezogen werden müssen, wenn dieser Einfluss vielleicht auch als nicht bedeutend sich herausstellt.

---

[1] Phil. Mag. [4] 46, p. 257, 1873.

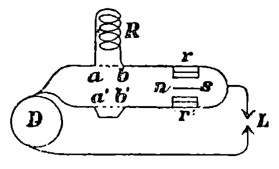
Chem. News 45, p. 37, 1882, Beibl. 6, p. 512.

Über die Discontinuität des Lichtbogens.

Diese, wie ich glaube, zuerst von G. Wiedemann[1] vermuthete Anschauung, dass das Überfliessen der Elektricität im Lichtbogen ein stossweises sei, hat von vornherein etwas ungemein Bestechendes und ein weiteres Eingehen in die thatsächlichen Verhältnisse lässt diesen Gedanken noch wahrscheinlicher werden. Jedenfalls müssen, da der rotirende Spiegel den Lichtbogen nicht in Theilbilder zerlegen kann, die einzelnen Entladungen sehr rasch aufeinander folgen. Auch die sonstigen ersten Versuche, die ich anfänglich anstellte, liessen eine Discontinuität der Erscheinung nicht erkennen. Weder Dynamometer noch Telephon gaben in den verschiedensten Schaltungen positive Resultate. Allerdings kann die Anwendung des Telephons sehr leicht zu Täuschungen Anlass geben, da im Strom einer Dynamomaschine Töne von sehr hohen Schwingungen vorkommen, welche aus der Rollenanzahl, Bewicklungsart und Umdrehungsgeschwindigkeit dieser Maschinen schwer erklärlich sind.

Diese Fehlerquelle wurde durch Anwendung einer Bunsenbatterie eliminirt und dann blieben die Versuche bei Kohlenelektroden und nicht zischenden Lichtbogen stets negativ.

Auch folgende Versuchsanordnung, welche ich gleichfalls leider nur mit Kohlenelektroden anstellte, liess ein Stossen des Stromes nicht erkennen. Es ist in nebenstehender Figur der Draht, welcher den Strom von der Dynamomaschine D zum Lichtbogen L führt, in zwei Theile getheilt. Jeder dieser Theile enthält eine Galvanometerrolle $r\,r'$, welche in entgegengesetztem



Sinne auf die Galvanometernadel ns wirken. Durch Aufheben es Schlüssels ab kann eine (Rhumkorff) Rolle von sehr grosser Selbstinduction und geringem Widerstande eingeschaltet werden, während $a'b'$ einen eben so grossen geraden Widerstand öffnet.

---

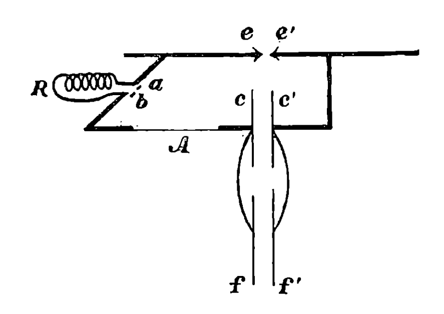
[1] Elektricität 1885, Bd. IV, S. 835 u. S. 855.

Zunächst sind *ab* und *a'b'* zu und es werden die Rollen *r* und *r'* so gestellt, dass die Galvanometernadel (für Spiegelablesung) in Ruhe bleibt. Die Stromvertheilung zwischen diesen beiden Zweigen würde bei Aufheben von *ab* und *a'b'*, wenn der Strom continuirlich ist, nicht geändert, hingegen müsste bei rasch aufeinander folgenden Stössen wegen der grossen Selbstinduction in ***R*** ein grösserer Theil durch die andere Zweigleitung fliessen. Die Nadel zeigte aber keinen sicheren Ausschlag. Entweder weil der Strom continuirlich ist oder weil die einzelnen Entladungen zu rasch aufeinander folgten. Da jedoch die Galvanometernadel bei diesem Versuche sehr unruhig war und überdies vielleicht die Selbstinduction der Galvanometerrollen das Resultat stören konnten, probirte ich noch zwei andere Methoden, welche der schönen Arbeit von H. Hertz: „Versuche über Glimmentladung“ [1] die eine der Idee nach, die andere direct entnommen waren.

Der eine Pol des elektrischen Lichtes war zur Erde abgeleitet und vom andern Pole führten zwei kurze metallische Leitungen direct zur Lemniscate und zum einen Quadrantenpaar eines Thomson'schen Elektrometers, während eben dieselbe Elektrode überdies noch mittelst der secundären Rolle eines sehr grossen Rhumkorff-Apparates mit dem zweitem Quadrantenpaar in Verbindung stand. Wenn das Potential an der Elektrode sich sehr rasch ändert, so wird in Folge der grossen Selbstinduction das eine Quadrantenpaar mit einem constanten Mittelwerth dieses Potentials geladen; das andere Quadrantenpaar aber und die Lemniscate werden in Übereinstimmung mit der Elektrode stets gleichzeitig dasselbe Potential haben, welches sehr rasch um diesen Mittelwerth herumschwankt. Da sie somit stets mit gleichnamiger Elektricität, wenn auch in wechselndem Betrage gefüllt sind, so müsste stets ein Ausschlag nach ein und derselben Richtung erfolgen. Trotzdem die Scala in fünf Meter Entfernung von dem Elektrometer aufgestellt war, zeigte sich weder bei Elektroden von Kupfer, Silber, Eisen, Kohle oder Platin irgend ein Ausschlag. Der Grund hievon dürfte mit Berücksichtigung des sogleich zu schildernden Versuches wahrscheinlich darin gelegen sein, dass die Amplituden der Potential-Schwankungen zu geringe sind.

[1] Wied. Ann. 1883, Bd. XIX, S. 782.

Folgende Methode hingegen ist überaus empfindlich und gab dem entsprechend auch ein in gewisser Beziehung positives Resultat. Ich bediente mich dabei eines Apparates, welchen ich entsprechend den Angaben von Hertz construirte; ein sehr dünner Messingdraht, $^1/_{20}$ Mm. Durchmesser und von 50 Ctm. Länge war horizontal ausgespannt, wobei das eine Ende fix an einer Mikrometerschraube sass, während das andere Ende mit einer Kupferspirale verbunden war. Knapp am letzteren Ende



war der Messingdraht um eine verticale Stahlaxe (Durchmesser 1·5 Mm) einmal herumgewickelt. Die Stahlaxe, welche oben und unten in gut gearbeiteten Messinglagern ruhte, trug einen kleinen Ablesespiegel. Wenn durch den horizontalen Messingdraht ein schwacher Strom hindurchfloss, so verlängerte sich der Draht in Folge der Erwärmung und die Spiegelrotation zeigte an der fünf Meter entfernten Scala eine entsprechende Ablenkung. Während die eine Elektrode e', wie in obenstehender Figur ersichtlich, direct mit der einen Platte eines Condensators c' (ein Mikroforad) verbunden wurde, war in die Leitung, welche die Elektrode e mit der andern Condensatorplatte c verband, einmal das eben geschilderte Apparatchen A und überdies noch die primäre Spule eines grossen Rhumkorff-Apparates R (Widerstand $= 0·02\ \Omega$) eingeschaltet; ab ist ein dicker Metalldraht, welcher den Rhumkorff rasch aus- oder einschalten lässt.

Es sei zunächst $a\ b$ metallisch geschlossen, dann wird, wenn das Potential an e und e' rasch vibrirt, der Condensator rasch hintereinander so geladen und entladen, dass die den dünnen Messingdraht durchzuckenden Ströme einen Ausschlag geben müssen.

Silber- und Kupfer-Elektroden geben bei keiner Länge des Lichtbogens einen Ausschlag.

Kohlenelektroden geben einen Ausschlag von etlichen 40 Mm. und mehr, wenn der Lichtbogen zischt; sowie aber die Distanz etwas grösser wird und der Lichtbogen zu zischen aufhört, verschwindet der Ausschlag sofort. Wenn selbst bei grösserer Distanz der Lichtbogen plötzlich zu zischen anfängt, erscheint plötzlich ein Ausschlag. Wenn ich neben den ersten Condensator $c\,c'$ einen zweiten $f\,f'$ parallel schaltete, stieg der Ausschlag auf das Doppelte. Durch Einschalten des Rhumkorff's (Aufheben von ab) verschwand jeder Ausschlag sogleich. Es folgen somit, was auch aus dem Misslingen sämmtlicher früher geschilderten Methoden hervorgeht, die Potentialschwankungen so rasch auf einander, dass die Selbstinduction der Rolle R die einzelnen Stromwellen vollkommen glättet.

Bei Eisenelektroden tritt schon bei grosser Distanz ein Ausschlag ein und wenn man die Elektroden einander langsam nähert, geht die Scala rasch aus dem Gesichtsfelde hinaus. Es ist gewöhnlich auch nicht möglich, die beiden Eisenspitzen im Lichtbogen bis zur Berührung zu bringen, da bereits vorher das Licht mit einem leisen Knall verlöscht. Bei Einschaltung des Rhumkorff erfolgt weder ein Ausschlag noch verlöscht das Licht, wenn man auch die Eisenspitzen bis zur Berührung bringt.

Noch auffälliger werden die Versuche bei Anwendung von Platinelektroden. Die Erwärmung des dünnen Messingdrahtes ist hier so gross, dass er gewöhnlich an irgend einer Stelle abschmilzt. Ich habe daher die beiden Elektroden direct durch einen dicken Draht mit den beiden Condensatorflächen verbunden. In einer Entfernung von 3 Mm. brennt der Lichtbogen ganz ruhig, nähert man nun die beiden Platinelektroden einander noch so allmählig, so verlöscht das Licht bei einer Elektrodendistanz von etwa $1^1/_2$ Mm. mit einem lauten Knall, und es ist unmöglich, die beiden Platinelektroden durch einen Lichtbogen zu entzünden. Doch geht das natürlich ganz leicht, wenn man die Condensatoren entfernt, es gelingt aber eben so leicht, wenn man in die zum Condensator führende Leitung die primäre Spule des Rhumkorff-Apparates einschaltet. Wenn im letzteren Falle die Platinelektroden in einer Entfernung von 1—2 Mm. ganz ruhig

leuchten, so genügt ein einfaches Ausschalten des Rhumkorffs (durch Überbrücken von $a\ b$), um den Lichtbogen momentan mit einem lauten Knall zu verlöschen.

Aus dem Vorangehenden scheint somit hervorzugehen, dass mindest bei Eisen- und Platinelektroden der Strom stossweise durch den Lichtbogen hindurchgeht; durch das Einschalten des Condensators muss nach jeder Entladung dieser Condensator frisch gefüllt werden und es scheint, als ob dadurch das Entladungstempo soweit verzögert wird, dass der Lichtbogen verlöschen muss. Diese Wirkung dürfte wahrscheinlich durch die Oscillationen, wie sie bei Condensatorentladungen auftreten, wesentlich verstärkt werden. Eine weitere Verstärkung scheint auch durch die Wirkung der Extraströme der Dynamomaschine erzeugt zu werden, denn, wenn auch bei Anwendung einer entsprechenden Bunsenbatterie alle die geschilderten Erscheinungen in gleicher Weise stattfanden, so schien mir doch in letzterem Falle der Knall beim Aufhören des Lichtbogens minder intensiv.

Wenn man zwischen Condensator und Elektrode die primäre Spule eines Rhumkorff einschaltet und durch die Selbstinduction dieser Rolle das stossweise Laden und Entladen des Condensators verhindern kann, so müssen auch in der secundären Rhumkorff-Spirale Inductionswirkungen sich nachweisen lassen und in der That springen zwischen den Enden derselben, wenn man dieselben gehörig (bis auf Bruchtheile eines Millimeters) nähert, bei brennendem Lichtbogen ganz kleine Funken continuirlich über.

Eine weitere Anwendung dieser Methode gestattet schliesslich noch zu entscheiden, welcher der beiden Pole an dieser discontinuirlichen Entladung den Hauptantheil hat und da ergeben sich folgende Resultate.

Bei der zischenden Kohle ist es der positive Pol, denn man kann einer positiven Kohle als negativen Pol wieder eine Kohle oder auch Kupfer oder Silber gegenüberstellen, es bleibt die frühere geschilderte Erscheinung sichtbar. Wenn man bei diesen Combinationen und einer Anordnung, wie sie in Fig. auf S. 1006 geschildert ist, die Elektroden so weit nähert, dass Zischen eintritt, so zeigt in eben demselben Momente auch der Spiegel des früher geschilderten Apparatchens einen Ausschlag an. Derselbe bleibt

jedoch bei grösseren Elektrodendistanzen aus. Ebenso ist, wenn man den Strom umkehrt, d. h. die Kohle in den eben geschilderten Combinationen zum negativen Pole macht, absolut kein Ausschlag zu sehen, selbst wenn man die Elektroden bis zum Verlöschen des Lichtbogens zusammenschiebt.

Interessant ist die analoge Untersuchung von Eisen und Platin; dieselbe ergibt nämlich genau das entgegengesetzte Resultat; nur kann man hier, besonders bei Platin, das früher benutzte Apparatchen weglassen. Wenn man einer positiven Platinelektrode eine solche von Kohle, Kupfer oder Silber gegenüberstellt, und die beiden Elektroden je mit den Condensatorplatten direct kurz verbindet, so brennt der Lichtbogen bei Distanzen von einigen Millimetern fast ebenso, wie bei ganz kleinen Entfernungen; man kann die Elektroden oft bis zur Berührung zusammenschieben, ohne etwas Auffälliges zu bemerken. Kehrt man jedoch die Stromrichtung um, d. h. macht man in obigen Combinationen und bei sonst ganz gleicher Anordnung Platin zum negativen Pole, so verlöscht das Licht, wenn man die Elektroden langsam gegeneinander schraubt, plötzlich mit einem Knalle, es ist unmöglich, bei etwa 1 Mm. Elektrodendistanz den Lichtbogen zu entzünden. Das Einschalten des Rhumkorffs vernichtet diese Erscheinung, dafür zeigt aber ein kleiner Funke das Auftreten der Inductionswirkung in der secundären Spirale an; ebenso wie Platin, nur minder auffällig, verhält sich Eisen.

Die in diesem Capitel geschilderten Entdeckungen bedürfen noch weiterer, vor allem quantitativer Untersuchungen, bevor sie ein sicheres Fundament zur Aufstellung einer neuen Hypothese werden könnten. Gleichwohl glaube ich jetzt schon folgende Vermuthung als ziemlich wahrscheinlich hinstellen zu können. Der Übergang der Elektricität im galvanischen Lichtbögen ist ein discontinuirlicher, bei Kupfer und Silberelektroden erfolgen die einzelnen Stösse wahrscheinlich so schnell, dass sie sich factisch nicht mehr nachweisen lassen. Die Anzahl der einzelnen Stösse ist bei Eisen und vor Allem bei Platin eine bedeutend kleinere und man kann daher mit den bis jetzt angewandten Hilfsmitteln die Erscheinung hier bereits constatiren. Die Entladungen gehen vom negativen Pole aus. Eine weitere Muthmassung, warum diese Intermittenz bei den schwerer schmelz-

baren oder vielleicht besser ausgedrückt, bei den schwerer flüchtigen Metallen eine langsamere ist, scheint mir einstweilen noch verfrüht. Nach den bis jetzt gemachten Versuchen scheint die Kohle trotz der hohen Potentialdifferenz von Kohlenelektroden in Bezug auf die Discontinuität des Lichtes dem Kupfer und Silber näher zu stehen, als dem Eisen und Platin, denn ich glaube mit einiger Berechtigung, die früher nachgewiesene Intermittenz beim Zischen, da dieselbe am positiven Pole ihren Sitz hat, nicht mit den Erscheinungen bei Eisen und Platin identificiren zu sollen.

Die positiven Ergebnisse dieser Arbeit sind:

1. Eine elektromotorische Gegenkraft ist direct durch einen Rückstrom noch nicht nachgewiesen.

2. Die Potentialdifferenz der Elektroden ist abhängig von ihrer Temperatur.

3. Ist die negative Elektrode Eisen oder Platin, so ist die Entladung discontinuirlich.

Universität Wien, Phys. Cabinet.